IGM82-107-378
CNRC 26444 F

La 37ième Conférence
de la Société des Industries du Plastique du Canada
CANPLAST - 82, Toronto, Septembre 1982

TITRE

CAO/FAO DANS L'INDUSTRIE DES PLASTIQUES
UNE TECHNOLOGIE DE POINTE

PAR

Georges Salloum, ing.
Officier de recherches

Raymond Gauvin, ing.
Chercheur invité

Institut de génie des matériaux
750, Bel-Air
Montréal, Québec
H4C 2K3

N.B. - An english version of this paper is also available.

RÉSUMÉ

Dans la plupart des pays industrialisés, la CAO/FAO est de plus en plus utilisée, particulièrement dans l'industrie des plastiques. Cet article dresse d'abord un tableau sommaire des perspectives générales que présente cette technologie, et discute brièvement les répercussions socio-économiques de son implantation. On y discute également du potentiel d'applications dans l'industrie des plastiques et plus spécifiquement dans l'industrie canadienne. Par la suite, plusieurs exemples des travaux de recherches et de développement faits à l'étranger sont rapportés. Finalement, un plan d'action dans ce domaine est proposé pour l'Institut de génie des matériaux. Enfin une bibliographie assez importante de 38 articles vient compléter cette étude.

ABSTRACT

In all major industrial countries, there is a growth in the use of CAD/CAM technology, particularly in the plastics industry. This article presents a summary of the general perspectives offered by this technology, and discusses briefly the socio-economic implications due to its implementation. We also discuss the potential applications in the plastic industry specifically in Canada. Afterwards, many examples of foreign research and development projects are reported. Finally, a plan of action in this field is proposed for the Industrial Materials Research Institute. A bibliography of 38 articles is included.

TABLE DES MATIERES

	INTRODUCTION	Page 1
1.	CAO/FAO - SIGLE DE PRODUCTIVITÉ ET DE CRÉATION MULTIDISCIPLINAIRE.	Page 2
2.	ÉVOLUTION ET PERSPECTIVE GÉNÉRALE DE LA CAO/FAO.	Page 4
3.	RÉPERCUSSIONS ET IMPLICATIONS SOCIO-ECONOMIQUES DE LA CAO/FAO.	Page 5
4.	LES FAITS SAILLANTS DE LA CAO/FAO DANS L'INDUSTRIE DES PLASTIQUES.	Page 6
5.	L'INDUSTRIE CANADIENNE DES PLASTIQUES ET LA CAO/FAO.	Page 8
6.	APERCU GÉNÉRAL SUR LES TRAVAUX DE RECHERCHES ET DE DÉVELOPPEMENT A L'ÉTRANGER.	Page 10
7.	PLAN D'ACTION PROPOSÉ POUR L'INSTITUT DE GÉNIE DES MATERIAUX DANS CE DOMAINE.	Page 14
	CONCLUSION	Page 15
	FIGURES	Page 16
	RÉFÉRENCES	Page 22

INTRODUCTION

Les outils de la CAO/FAO "conception et fabrication assistées par ordinateur" sont devenus des ingrédients essentiels à toutes les étapes du processus de production. Ce processus est surtout basé sur les ressources humaines et les outils qui sont mis à leur disposition. Donc, la CAO/FAO vise essentiellement à forger l'expérience technique du personnel à la puissance de l'informatique.

L'objectif principal de cette communication est la mise en évidence des possibilités de la CAO/FAO, particulièrement dans l'industrie des plastiques. Tout en suivant une méthode d'approche rigoureuse, on tâchera d'expliquer les multiples facettes de cette technologie. Ensuite, on examinera les applications de la CAO/FAO dans l'industrie des plastiques, ainsi que les derniers travaux de recherches et de développement dans ce domaine.

1. CAO/FAO - SIGLE DE PRODUCTIVITÉ ET DE CRÉATION MULTIDISCIPLINAIRE

La CAO/FAO est devenue le facteur le plus radical de la décennie dans l'industrie manufacturière. Cette technologie affecte déjà l'ensemble du cycle de développement d'un produit, de son concept original jusqu'à la fabrication de ce dernier. Il n'est guère possible de donner une définition précise à la CAO/FAO, car elle est à l'ordre du jour et ses frontières évoluent constamment. Cependant, il est convenu de dire qu'une personne fait de la CAO/FAO lorsqu'elle dialogue avec un système informatisé en vue de concevoir ou fabriquer un objet.

Dans son rôle principal de favoriser la liaison conception-fabrication, la CAO/FAO offre une méthodologie unique au service de l'utilisateur; voir figure 1 pour l'illustration de ce concept. Ici le dialogue concepteur-écran graphique, présente une certaine similitude avec le diaglogue naturel opérateur-machine. La figure 2 montre les principaux éléments d'un poste de travail interactif [1]. Avec un tel poste, il est possible de définir et d'évaluer la performance d'un objet, de manipuler les informations graphiques et alphanumériques ou bien de communiquer avec une machine-outil à commande numérique. Cette communication rapide représente toujours l'élément majeur de la productivité d'une entreprise. En jouant le rôle de catalyseur entre les différentes fonctions de l'ingénierie, la CAO/FAO est surtout destinée aux groupes suivants:

- concepteurs et ingénieurs de bureaux d'études,
- analystes de méthodes de fabrication,
- ingénieurs de procédés et techniciens d'usine,
- programmeurs de machines à commande numérique,
- dessinateurs industriels, etc.

A travers un langage commun adapté aux besoins de l'entreprise, la CAO/FAO offre à ses utilisateurs plusieurs possibilités dont voici les principales:

a) Une assistance à la création et la définition d'un système,

d'un modèle ou d'un produit.

b) Un pouvoir décisionnel qualitatif et quantitatif lors de la conception et de l'évaluation d'un système.

c) La consultation des fichiers de pièces et des données numériques sur les propriétés des matériaux.

d) La conception de l'équipement et de l'outillage nécessaires à la production.

e) L'évaluation des performances d'un modèle en simulant les conditions de chargement.

f) L'intervention directe sur le modèle pour explorer certaines modifications géométriques ou des nouveaux paramètres d'opération.

g) La génération des instructions pour la commande des machines à contrôle numérique servant à la fabrication.

h) La planification des procédés en définissant la nature et la séquence des opérations.

i) Le contrôle de l'inventaire et des cédules de production.

j) Le contrôle de la qualité à travers un système d'inspection et d'évaluation automatisé.

k) L'intégration de toutes les fonctions de l'entreprise dans un système de fabrication flexible.

Donc la CAO/FAO permet la mise au point d'un produit avec une économie considérable de temps. On peut conduire une étude complète sur un objet sans nécessairement passer par un prototype. L'utilisation de cette technologie apporte une amélioration sensible à la productivité, développe le sens de l'organisation de l'entreprise et amplifie la capacité créatrice du personnel [2, 3].

2. ÉVOLUTION ET PERSPECTIVE GÉNÉRALE DE LA CAO/FAO

La figure 3 montre la progression et le développement historique du concept de la CAO/FAO qui entre aujourd'hui dans une ère de croissance exponentielle [4]. L'évolution de cette technologie dépend de deux facteurs importants soit la performance de l'équipement et le bénéfice de l'utilisateur. La CAO/FAO n'est pas une technologie à caractère unique car elle peut être adaptée au type d'entreprise où elle est implantée. L'expansion de cette technologie dépendra donc du développement de nouveaux modules d'applications orientés vers les différents secteurs de l'industrie. La figure 4 présente les prévisions de croissance du marché mondial selon le type d'application [5].

Ainsi pour la période 1980-1986, le nombre de postes de travail graphiques interactifs passera de 17,000 unités à 100,000 au niveau mondial. Pendant la même période, les ventes passeront de 900 millions à 5.8 milliards de dollars par année. Le tableau 1 illustre la progression de ce marché aux Etats-Unis pour divers secteurs d'activités [6]. Actuellement, l'intégration complète des fonctions d'une entreprise soit la conception, la fabrication, la planification et le contrôle constitue l'étape la plus difficile de la CAO/FAO. Cette intégration sera faite dans une structure modulaire composée de plusieurs sous-ensembles tel qu'illustré à la figure 5, le tout formant un système de fabrication flexible.

Dans une telle perspective, l'information accumulée par l'ingénierie de conception sera disponible à l'ingénierie de fabrication et vice versa. C'est dans le couplage des principes de design et des exigences de la fabrication que la réalisation des concepts sera plus efficace. Le rôle de la technologie de groupe deviendra de plus en plus nécessaire pour l'uniformisation et la standardisation des données. Ceci réduira considérablement le temps et le coût de transfert des données entre les diverses fonctions de l'entreprise.

3. RÉPERCUSSIONS ET IMPLICATIONS SOCIO-ÉCONOMIQUES DE LA CAO/FAO

A l'heure actuelle, l'adaptation de cette technologie au milieu industriel, nécessite généralement une restructuration du processus de travail dans l'entreprise. Il est nécessaire de résoudre certains problèmes reliés à la distribution des tâches et à l'assignation du personnel. Il y a donc des changements qui touchent les méthodes de travail, et par conséquent la discipline des individus. Il faut noter qu'avec la CAO/FAO les connaissances techniques se trouvent concrétisées dans une représentation sensible et apparente. A travers ce langage visuel, l'expression prend une très grande force de suggestion et d'évidence.

Nombreux sont ceux qui croient que la CAO/FAO enlèvera de l'emploi mais il faut surtout chercher à déterminer comment elle peut les transformer et en créer d'autres. Il faut aussi signaler que l'incapacité d'utiliser cette technologie risque de provoquer des pertes d'emplois encore plus dramatiques. Il faut rappeler que la CAO/FAO nécessite un grand nombre de spécialistes pour son développement et son utilisation et de ce fait génère plusieurs emplois [7].

Il faut voir la CAO/FAO comme un complément et non un substitut de la force intellectuelle. C'est de cette façon que se construira le nouveau tissu industriel, et tout projet de dévelopement doit s'en inspirer. Lors de l'implantation de la CAO/FAO dans une entreprise, il est recommandable d'y associer une portion importante du personnel, de sorte qu'ils y trouvent l'occasion de mettre en valeur ses connaissances. Il se développe ainsi un sens de la productivité et une volonté de travail coopératif qui est la clef de la réussite [8].

Bien sûr, la taille de l'entreprise est un facteur important surtout au niveau des ressources financières. Pourtant, des effets très positifs ont été enregistrés chez la petite et moyenne entreprise. La CAO/FAO n'étant pas seulement un outil de production, mais aussi un facteur de développement [9]. Finalement, l'accumulation des données doit se faire avec prudence, sinon elle peut entraîner la saturation de la réflexion chez l'individu. Donc l'une des préocupations sera le filtrage des données de façon à présenter une image simplifiée pour les travaux d'analyse, de synthèse ou d'interprétation [10].

4. LES FAITS SAILLANTS DE LA CAO/FAO DANS L'INDUSTRIE DES PLASTIQUES

Bien que la CAO/FAO ait été exploitée initialement par l'industrie aéronautique, elle n'est plus de la science fiction pour l'industrie des plastiques. La CAO/FAO s'est introduite progressivement dans cette industrie dès le début des années 70, surtout dans le processus d'usinage des moules. Ce n'est que vers la fin de 1978 qu'on a adopté cette technologie à la conception des pièces, de l'outillage et de l'équipement. La demande croissante de produits de qualité et la pression exercée auprès des manufacturiers pour des livraisons plus rapides, ont obligé l'industrie à se tourner vers la CAO/FAO. Présentement, des progrès sont réalisés au niveau de la standardisation des méthodes, de la préparation des dessins et de la commande automatique des machines. Ainsi, les transformateurs et les moulistes peuvent améliorer l'outillage et mieux contrôler les conditions d'opération lors de la mise en oeuvre. Voici une liste d'activités qui résume le potentiel d'applications de cette technologie dans l'industrie des plastiques:

a) la sélection des matériaux selon les exigences de l'application.
b) La construction de l'outillage à l'aide d'éléments standardisés.
c) La production et la modification rapide des dessins.
d) L'analyse du cycle de production et l'évaluation du coût des produits.
e) L'optimisation des paramètres de moulage; durée du cycle, pression et température.
f) La conception optimale des produits à travers un meilleur équilibrage des débits et des pressions.
g) La détermination du profil de température, et du temps de refroidissement.
h) L'analyse des contraintes et des déformations lors de la conception des produits, des éléments des moules ou des machines.
i) L'usage des robots pour le chargement des inserts, le transfert entre stations, le placage, les traitements thermiques et l'application d'adhésif ou de lubrifiant, etc.

j) La programmation de la paraison dans le procédé de moulage par soufflage.

k) La fabrication des modèles et des électrodes pour l'usinage par étincelage, avec les corrections programmées pour le retrait au moulage.

l) La vérification du tracé de l'outil de coupe pour l'usinage des cavités complexes.

m) L'usinage des éléments symétriques, des pièces mâles et femelles avec un seul programme et la technique de l'image miroir.

Certaines entreprises disent avoir réalisé des économies importantes en utilisant cette technologie. En voici deux exemples: grâce à une meilleure conception des moules, la compagnie General Electric dit avoir réalisé une économie de 100 millions de dollars/an [11].
De même, chez Firestone Tire and Rubber, le temps nécessaire au développement d'un moule pour un pneu a été réduit de 21 à 2.5 jours. Cette compagnie dit avoir utilisé quelques 400 sous-routines pour compléter l'analyse et le dessin d'un nouveau moule [12]. Ces exemples montrent à quel point la CAO/FAO peut être importante pour l'industrie.

L'introduction de la CAO/FAO dans l'industrie des plastiques représente aussi un moyen de formation efficace, apportant ainsi une solution à une pénurie constante de personnel qualifié. Elle peut également aider cette industrie à améliorer sa productivité par:

- la mise au point de produits de haute qualité,
- la réduction des délais de livraison,
- la diminution des coûts de production,
- la standardisation des méthodes de travail.

5. L'INDUSTRIE CANADIENNE DES PLASTIQUES ET LA CAO/FAO

Il ne fait aucun doute que la CAO/FAO est présente dans l'industrie canadienne des plastiques. L'utilisation des systèmes informatisés date de 1975 avec l'introduction des mini-ordinateurs et des microprocesseurs [13]. Jusqu'à maintenant, les applications sont surtout limitées au contrôle de la production et des procédés de fabrication. Les mini-ordinateurs sont utilisés pour contrôler les horaires de production et pour la préparation des statistiques sur le taux de rejet, le calcul du rendement et l'usage du matériel. Ils sont aussi utilisés pour contrôler les finances de l'entreprise et faire des estimations de coûts. Les microprocesseurs, eux, sont principalement utilisés dans le contrôle et la régulation automatique. Ainsi, les conditions d'opération sont vérifiées et corrigées pendant le moulage ou lors de l'usinage du moule par le mouliste. Aujourd'hui, sur environ 250 moulistes au Canada, 30% possèdent déjà des machines à contrôle numérique et leur nombre ne cesse d'aumenter. Le nombre de ces installations au Canada a augmenté de 31% en 1981 par rapport à celui de 1980 [14].

Récemment, plusieurs collèges techniques ont installé des systèmes CAO/FAO pour la formation d'un personnel qualifié destiné à l'industrie des plastiques. C'est le cas des collèges Mohawk, Seneca, Durham et George Brown en Ontario. L'enquête réalisée par l'association des manufacturiers canadiens et le ministère de l'industrie et du commerce, révèle un intérêt grandissant de la part des répondants pour la CAO/FAO [15]. Il faut noter les travaux de recherches du département de génie mécanique à l'université de Colombie-Britannique à Vancouver et ceux de CIM ("Canadian Institute of Metalworking") à Hamilton. Ces travaux sont orientés vers la modélisation des surfaces complexes et vers les procédés d'usinage des moules avec les machines-outils à commande numérique.

Pourtant, peu de compagnies canadiennes utilisent la CAO/FAO pour la totalité du cycle de développement d'un produit incluant la conception, l'analyse et la fabrication. A l'exception de quelques grandes entreprises

captives qui possèdent ce genre de facilités, le nombre de ces installations chez les petits manufacturiers est plutôt modeste. A l'heure actuelle, plusieurs moules destinés à l'industrie canadienne sont analysés, construits et mis au point aux Etats-Unis, au Japon et en Europe. Parmi ceux qui sont construits aux Etats-Unis, un bon nombre est installé chez des transformateurs américains, et les produits finis sont expédiés au Canada pour pour fin d'assemblage. On peut voir en cela un déplacement vers l'étranger des tâches qui sont liées au cycle de développement naturel de la CAO/FAO dans l'industrie canadienne. Peu de transformateurs au Canada utilisent les robots dans leurs opérations de moulage. A cet égard, on est loin de la moyenne mondiale où l'industrie des plastiques occupe la deuxième place avec 13% des installations des robots industriels, après l'industrie de l'automobile [16, 17].

Dans ce contexte, il faut regarder le déficit de la balance commerciale pour le secteur des plastiques. Ce déficit se situe autour de 1.25 milliards de dollars dont 65% est dû aux importations des produits finis et des équipements [18]. En 1981, l'industrie des plastiques au Canada était le troisième plus grand employeur dans le secteur manufacturier, avec 60,000 emplois directs et un marché domestique de 5.6 milliards. Sur un total de 2,000 entreprises incluant les transformateurs, les moulistes et les fournisseurs de matière première, environ 250 entreprises ont 100 employés et plus. Pendant l'année 1981, les exportations représentaient 420 millions de dollars pour les produits finis et 105 millions pour les moules. Au Canada, nous avons estimé le marché annuel des moules à environ 5,000 moules totalisant une valeur approximative de 250 millions de dollars [19].

Malgré l'existence de signes encourageants, nous avons un retard quant au nombre d'installations des systèmes CAO/FAO par rapport à d'autres pays industrialisés. Bientôt le marché ne pourra plus tolérer cet état de chose.

6. APERCU GÉNÉRAL SUR LES TRAVAUX DE RECHERCHES ET DE DÉVELOPPEMENT A L'ÉTRANGER

La demande croissante des produits de haute qualité a contribué avec les effets de l'inflation, à mettre en valeur les programmes de recherches et de développement de la CAO/FAO. Le système "MOLD FLOW" est une des réalisations premières d'une recherche scientifique sur l'écoulement dans les moules à injection. Ce système a été développé par un groupe de chercheurs dirigé par Colin Austin en Australie entre 1975 et 1978. Actuellement le système est commercialisé par la compagnie General Electric à travers son réseau informatique MARK III [20]. Ce programme repose sur deux principes de base, soit l'équilibrage des débits et la constance du gradient de pression dans le moule. Tout en permettant une simulation du remplissage du moule, le système offre les possibilités suivantes:

a) le dimensionnement du système d'alimentation,
b) la détermination des conditions optimum de moulage,
c) l'analyse des effets du taux de cisaillement de la matière,
d) la conception optimale du produit par des modifications apportées à la forme, aux épaisseurs et à la matière première.

En 1979, l'année de l'introduction du programme "MOLD FLOW" sur le marché, 2,000 moules ont été analysés avec ce système dans une proportion de 60% aux Etats-Unis, 30% au Japon et 10% en Europe. Il faut noter l'existence de 5,000 compagnies américaines spécialisées dans la fabrication des moules. En Europe, plusieurs villes sont desservies par des centres d'assistance technique de GE, particulièrement à Evry en France, Russelsheim en Allemagne, Milan en Italie, Amsterdam en Hollande et Warrington en Angleterre. Voici à titre d'exemple les grandes sociétés qui ont expérimenté le système "MOLD FLOW" [21].

- SECTEUR MATIERE PREMIERE:
  General Electric, Mitsubishi Chemicals, Montedison, Snia Viscosa.

- SECTEUR ÉLECTROMÉNAGER:
  General Electric, Hitachi, Matsushita, Sony, Toshiba

- SECTEUR AUTOMOBILE:
  General Motors, Toyota, Mazda, Mitsubishi Motors

- SECTEUR ÉLECTRONIQUE:
  Minolta, Kodak, Olivetti, Ticino, ITT, Canon

Très récemment, les travaux de recherches à la compagnie "Application Engineering Corp." ont abouti à la commercialisation d'un autre système qui s'appelle "MOLD COOL", pour l'analyse thermique des moules. Ce système est disponible dans quelques 600 villes à travers le monde par l'intermédiaire du service d'information de la compagnie General Electric, (GEISCO) [22, 23]. Développé initialement pour l'étude des moules à injection, le programme "MOLD COOL" a été adapté ultérieurement aux procédés de soufflage et de thermoformage, et au moulage des thermodurcissables. On peut simuler le transfert de chaleur dans le moule en régime transitoire et concevoir le système de refroidissement en faisant intervenir:

a) le calcul de la quantité de chaleur et des pertes de pression dans le circuit de refroidissement,
b) l'optimisation du cycle de moulage avec les paramètres d'opération (débit, pression, température).

La compagnie General Electric aux Etats-Unis a décidé d'augmenter la productivité du procédé de moulage par injection en adoptant la CAO/FAO [24]. Il faut noter que GE possède environ 1,000 presses en service et transforme quelques 130 millions de livres de plastique annuellement. De même, chez General Motors on rencontre l'un des programmes le plus avancé pour la génération des images miroirs et des modèles solides [25]. General Motors construit plus de 1,000 moules et transforme environ 600 millions de livres de plastique par année.

Au niveau de la fabrication, les travaux de la compagnie "National Computer System" à Minneapolis ont permis la mise au

point de trois programmes: "COMPUGRAPHICS", "COMPUSCANNER" et "COMPUMILL". Ces programmes servent à la définition numérique des pièces, l'acquisition des mesures en 3D d'un prototype et l'usinage du moule [26]. Un autre programme de recherches important est celui de l'université Cornell dans l'état de New York. En plus de l'analyse de l'écoulement et du système de refroidissement, leur programme permet de dimensionner et de sélectionner les éléments du moule [27]. Il permet aussi la génération des rubans pour l'usinage sur les machines à contrôle numérique. Ces travaux sont parrainés par "The National Science Foundation" et un Consortium industriel incluant des compagnies comme GM, GE et autres.

En Grande Bretagne, parmi les multiples projets du centre CAO/FAO à Cambridge, on peut citer les programmes "POLYSURF" et "DUCT" destinés à l'usinage des moules et matrices. Des tracés d'outils pour l'usinage des surfaces complexes peuvent être générés à l'aide de ces programmes et vérifiés sur écran graphique [28]. D'autres centres de recherches ont largement contribué à l'avancement de la technologie CAO/FAO dans l'industrie des plastiques, tels que les centres d'ingénierie de production à Glasgow, à Salford et à Birmingham. On signale aussi les travaux de recherches entrepris par le département de génie mécanique à "l'Imperial College" de Londres et le département des polymères à l'université de Manchester [29, 30].

En Allemagne fédérale, plusieurs programmes de recherches et de développement de la CAO/FAO, ont été établis depuis 1975 à l'Institut de transformation des plastiques (IKV) à Aachen et à l'Institut Allemand des plastiques (DKI) à Darmstadt. Certains de ces travaux de recherches sont rapportés par (RAPRA) "Rubber and Plastics Research Association" et dans les éditions (VDI) "Verlag Dusseldorf Institute". Dans le cadre du programme CADIM "Computer Aided Design for Injection Molds", des matrices de décision ont été développées pour la sélection du type de moule et le calcul du nombre de cavités optimum. Aussi des programmes ont été développés pour l'analyse des contraintes et des déformations dans les éléments du moule, pour l'analyse de l'écoulement de la résine et pour le choix des matériaux [31, 32, 33].

En France, l'emploi grandissant des ordinateurs dans les procédés de mise en forme des plastiques a nécessité l'instauration de plusieurs programmes de recherches CAO/FAO. Les projets se situent généralement au niveau de la conception de l'outillage et de l'optimisation de la conduite automatique des machines. Les travaux du Centre d'études techniques des industries mécaniques (CETIM) constituent une large contribution pour l'avancement de la CAO/FAO, tout particulièrement aux établissements de Nantes spécialisés dans la conception de l'outillage des plastiques et caoutchoucs. Une méthodologie de design a été mise au point, avec des programmes de calcul, des épures et des abaques [34, 35]. On signale des travaux similaires à l'École nationale des matières plastiques d'Yonnax, au Centre de mise en forme des matériaux et au Centre d'étude des matières plastiques à Paris [36].

Au Japon, l'introduction de la CAO/FAO dans l'industrie des plastiques date de 1978 avec le développement du système CAD-M, "Computer Aided Design, Drawing and Manufacturing for Dies and Molds" [37]. Ce programme qui a été développé par Matsushita Electric Industrial Co. est de construction modulaire et flexible. Il a trois objectifs principaux qui sont les suivants:

1. l'optimisation de la conception des matrices et moules complexes pour l'industrie électronique,
2. l'automatisation et l'uniformisation des procédures de dessin de l'outillage,
3. l'assistance aux moulistes dans la fabrication avec les machines à contrôle numérique.

D'autres travaux de recherches pour la conception de moules, assistée par ordinateur, ont été entrepris par des compagnies comme Toshiba Machine, Fujitsu Kasei et Sekisui Machinery [38].

7. PLAN D'ACTION PROPOSÉ POUR L'INSTITUT DE GÉNIE DES MATÉRIAUX DANS CE DOMAINE

L'Institut de génie des matériaux est à établir un programme de recherches et de développement CAO/FAO pour répondre aux besoins de l'industrie canadienne des plastiques. L'objectif d'un tel programme est de fournir à l'industrie le support technique nécessaire à l'adoption de cette technologie. Dans le cadre de ce programme, une première phase consiste à développer une base de données pour assister à la conception des produits et de l'outillage. Celle-ci comporterait les propriétés physiques des matériaux, les caractéristiques de mise en forme ainsi que des éléments géométriques standardisés. En deuxième lieu, nous attaquerions le domaine des logiciels où des outils seraient développés pour l'étude de l'écoulement, du transfert de chaleur et pour l'analyse des contraintes et des déformations dans le moule.

Pendant la phase initiale, les travaux seraient orientés vers le procédé de moulage par injection. Cependant, à moyen terme, l'IGM voudrait étendre ses activités aux autres procédés de mise en forme des plastiques, tels que l'extrusion, le soufflage et le moulage par compression. Ce programme s'adresse principalement à l'axe mouliste-transformateur, mais sa portée pourrait être élargie afin d'entreprendre des projets avec les manufacturiers d'équipement. A long terme, on prévoit également une expansion de nos travaux au procédé de la coulée sous pression des matériaux métalliques et une liaison très étroite avec d'autres activités de l'Institut, notamment dans le domaine de la robotique appliquée au soudage automatique.

CONCLUSION

La technologie CAO/FAO s'est imposée sur la scène internationale, et l'industrie canadienne des plastiques se doit de l'adapter pour demeurer compétitive. Toutefois, le succès de la CAO/FAO dépend largement de la capacité et de la motivation du personnel de l'entreprise. Il faut admettre qu'une résistance au changement et une tendance à conserver les méthodes déjà établies sont tout à fait naturelles. Pour les compagnies de petite taille, l'adoption de cette technologie est à la fois un défi et un outil de développement. Car avec la CAO/FAO, les problèmes peuvent être résolus plus rapidement, assurant à ces compagnies une plus grande versatilité qui représente leur force première. Les applications de la CAO/FAO continueront à gagner du terrain, mais elles seront toujours conditionnées par la nature et la diversité de l'entreprise.

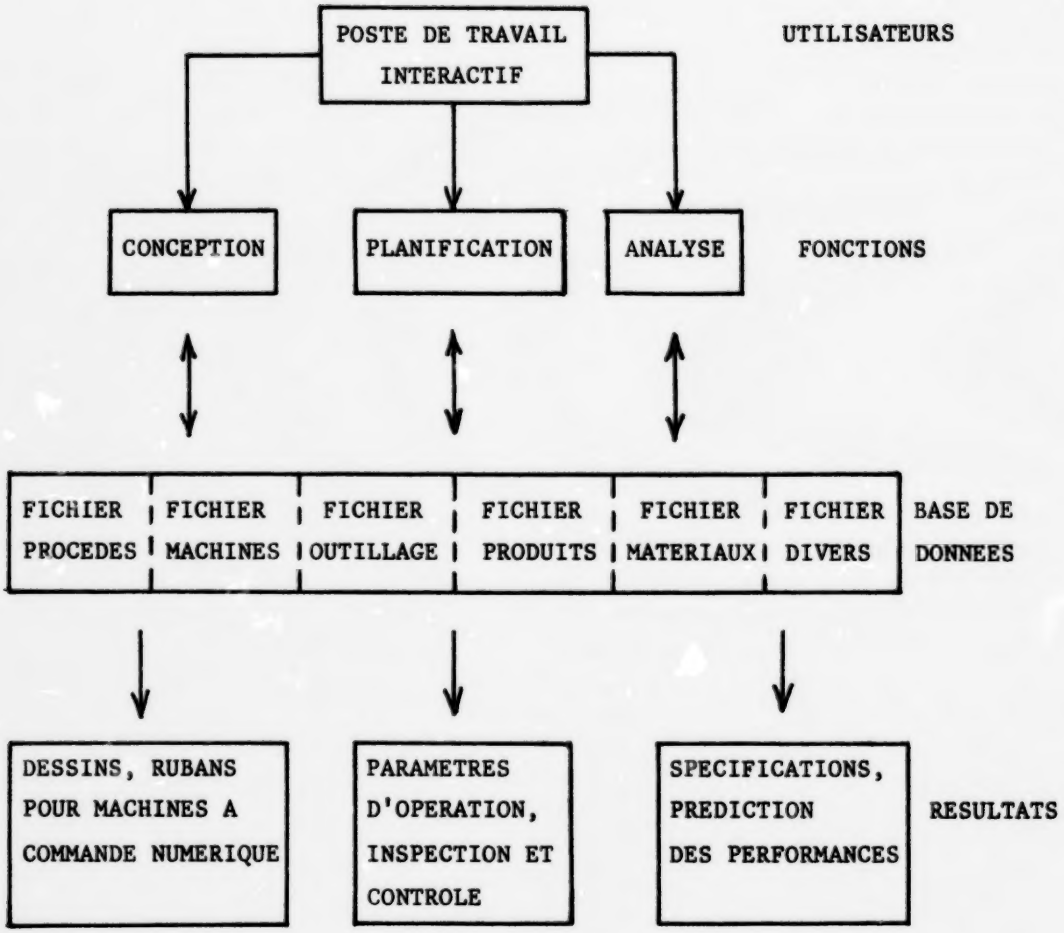


FIG. 1 LE CONCEPT DE LA CAO/FAO

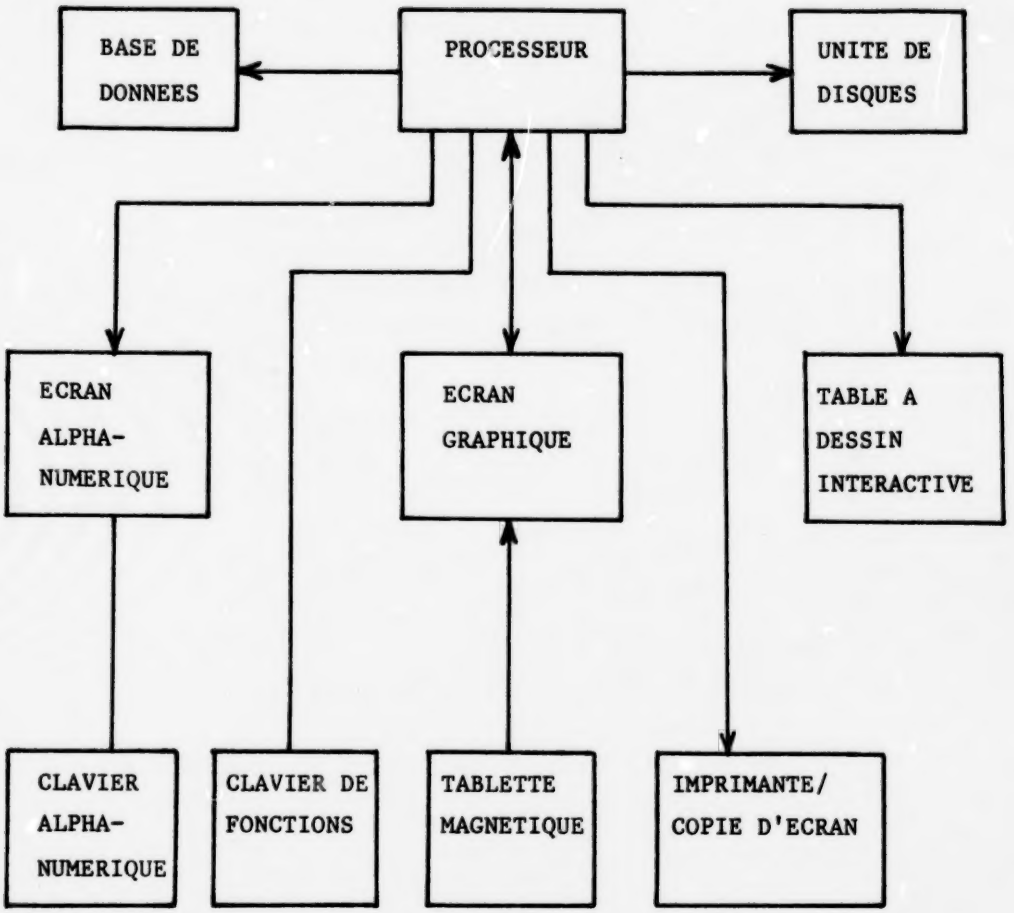
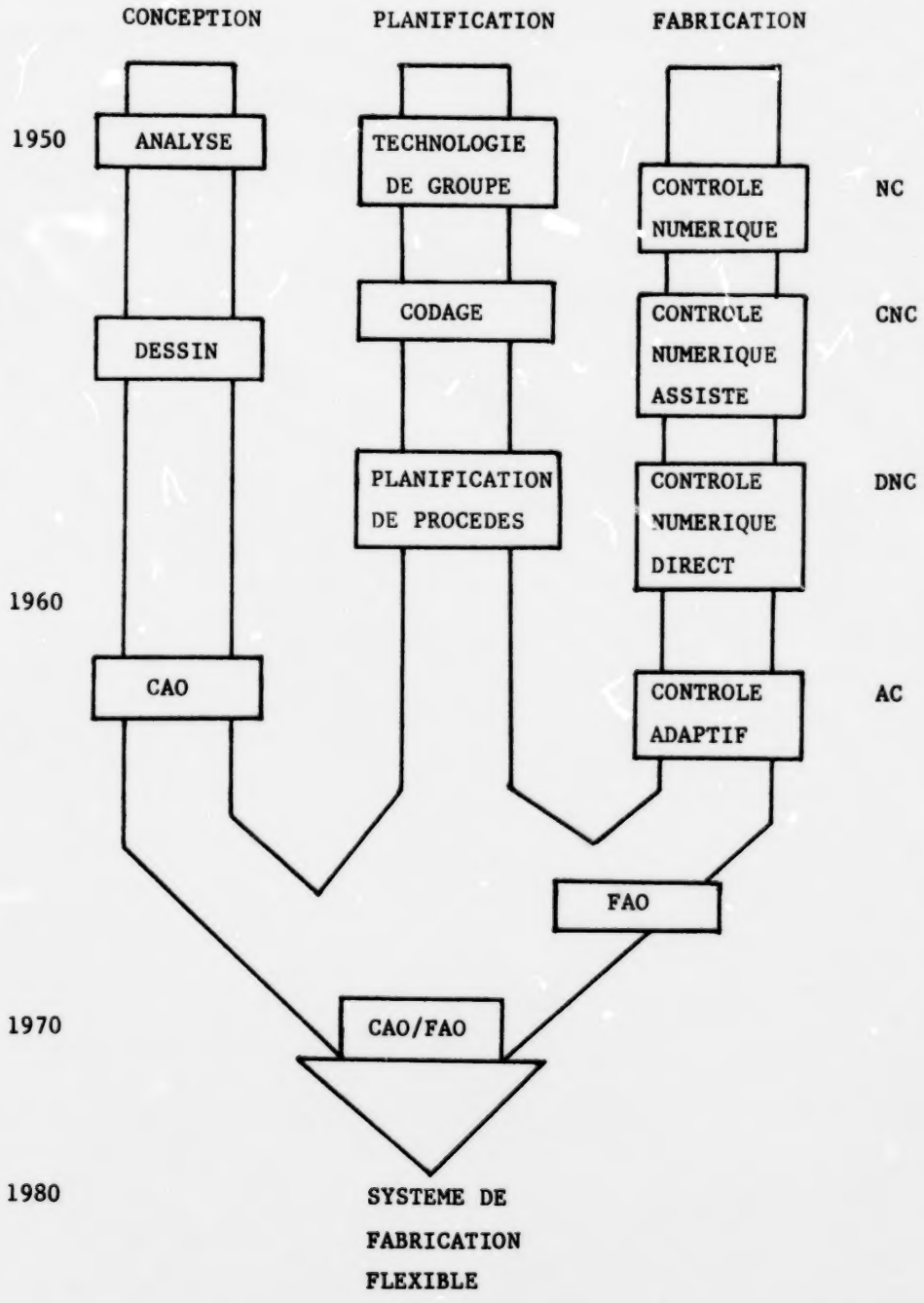


FIG. 2 POSTE DE TRAVAIL INTERACTIF

FIG. 3 EVOLUTION HISTORIQUE DE LA CAO/FAO



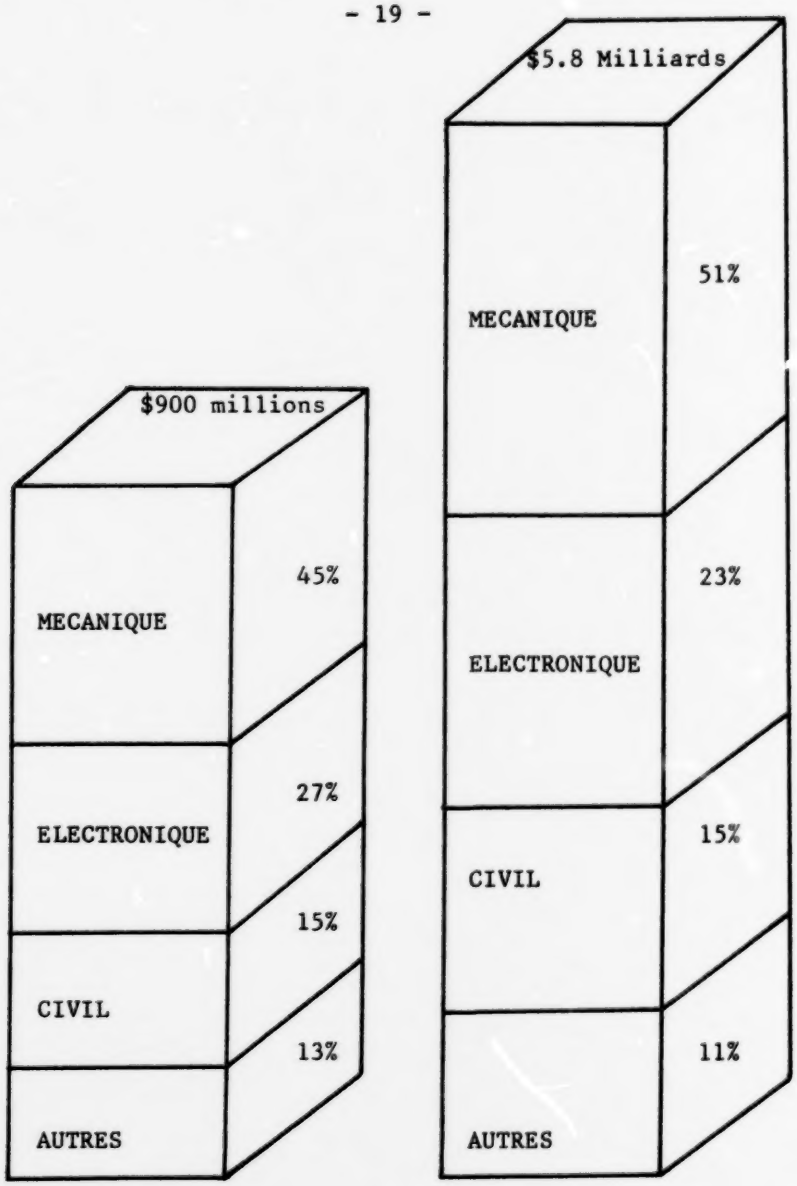


FIG. 4 PREVISION DE CROISSANCE DU MARCHE MONDIAL DE LA CAO/FAO POUR DIFFERENTS SECTEURS INDUSTRIELS

	1978	%	1979	%	1980	%	1981	%	1984	%
Mécanique	$65	+60%	$120	+85%	$199	+66%	$310	+56%	$1,100	53%
Electronique	49	+36%	90	+84%	149	+66%	215	+45%	396	28%
Ingénierie civile	25	+50%	50	+100%	75	+50%	108	+45%	308	42%
Cartographie	15	+70%	30	+100%	70	+133%	105	+45%	242	37%
Autres	11	+60%	20	+82%	17	-15%	27	59%	154	73%
TOTAL	$165	+60%	$310	+88%	$510	+65%	$765	+50%	$2,200	44%

TABLEAU 1. ESTIMATION DE LA CROISSANCE ANNUELLE
DU MARCHE DE LA CAO/FAO AUX ETATS-UNIS
PAR APPLICATION
($ MILLIONS)

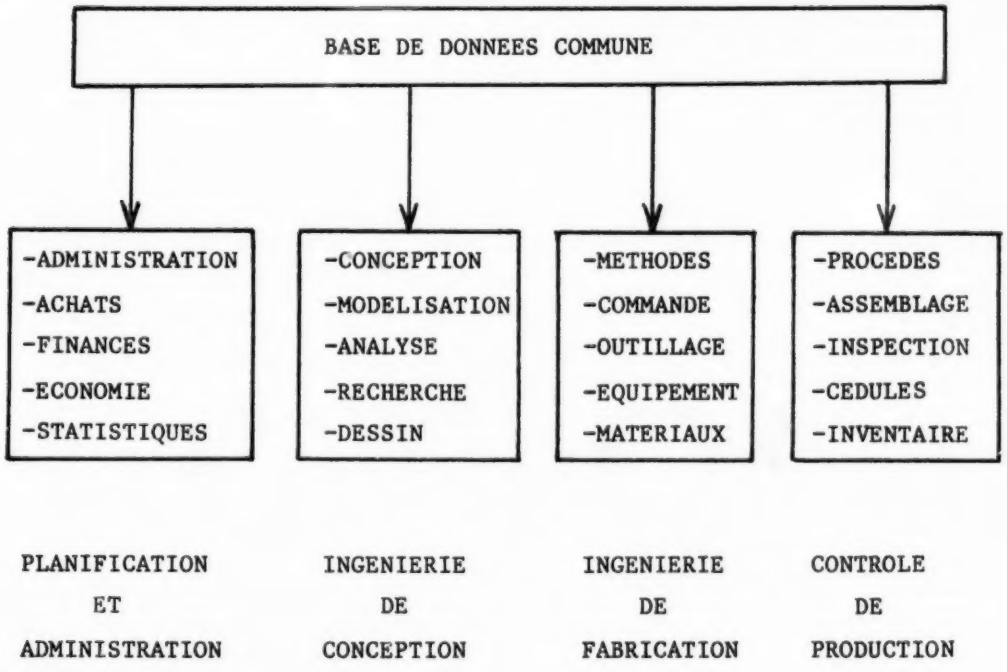


FIG. 5 LE CONCEPT DU SYSTEME DE FABRICATION FLEXIBLE CAO/FAO

REFERENCES

1. Serge Parizot, Techniques de l'ingénieur, vol. T7300, Paris, France, 1981.

2. CASA-SME, Proceedings of the AUTOFACT III Conference, Detroit, U.S.A., November 1981.

3. CAM-I, Proceedings of the International Spring Seminar, Cannes, France, April 1981.

4. METCUT Research Associate, Machining Data Handbook, M.D.C. Vol. 2, Ohio, U.S.A., 1980.

5. IEEE-COMPUTER, CAD/CAM, The Need for a Broader Focus, January 1982.

6. Merrill Lynch, CAD/CAM Industry Review and Outlook Results of First Annual User Survey, September 1980.

7. Jean-Jacques Servan Schreiber, Le défi mondial, Edition SELECT Ltée, Montréal, 1980.

8. ENJEUX, Edition AFNOR, no. 14, Paris, France, Mai 1981.

9. Jean Mermet, Proceedings of the First European Conference on CAD in Medium Sized and Small Industries, MICAD 80 Paris, France, September 1980.

10. Charles Eastman, Data Base Facilities for Engineering Design, Proceedings of the IEEE, Special Issue on CAD, vol. 69, No 10, october 1981.

11. Gene Bylinsky, A New Industrial Revolution Is on the Way, FORTUNE, October 1981.

12. ELASTOMERICS, Computer-Controlled Drafting Equipment Ease Mold Design Processing, November 1980.

13. Lyn Hamilton, Computer in the Molding Plant, Canadian Plastics, October 1975.

14. Canadian Machinery and Metalworking, 1981 Census of Canada NC Machine Tools, March 1981.

15. CAD/CAM Technology Advancement Council, Information Needs of Canadian Companies on CAD/CAM, February 1982.

16. Robert Stauffer, Robotics Highlights of the AUTOFACT III Conference, ROBOTICS TODAY, February 1982.

17. Kanji Yonomoto, The Socio-Economic Impacts of Industrial Robots in Japan, The Industrial Robot, December 1981.

18. Victor Buchstab and Faris Shammas, Prognosis for the 80s, Canadian Plastics Directory and Buyers' Guide, 1981.

19. Frank Marra, Mold Industry Prognosis: Excellent ... but with Problems, Canadian Plastics, November 1979.

20. Arnold Varner, Computerized Age Approach to Design of Mold & Plastic Parts - an Update, Proceedings of the 39th ANTEC SPE Conference, Boston, U.S.A., May 1981.

21. Plastiques modernes et élastomères, Dessiner votre moule à l'ordinateur, Jan/Fév. 1980.

22. Bernie Miller, Goodbye, Cut-and-Try; Now It Is a Science, Plastics World, August 1981.

23. John Luciana, Reduce Mold Cooling Time Through Heat Transfer Analysis, Plastics Engineering, October 1981.

24. Bernie Miller, Production in Molding Say "Goodbye" to the Guess Work, Plastics World, September 1980.

25. Modern Plastics, Computerized Moldmaking Gets a Start and CAE Replicates Solid Molds That Can Be Tested, August 1981.

26. Scott Collins, CAD/CAM: The Moldmaker's Point of View, Plastics Machinery and Equipment, May 1981.

27. K. Wang, P. Khullar and W. Wang, Designing Injection Molds by Computer, Plastics Engineering, November 1981.

28. D. Welbourn, Computer Graphics and Numerically Controlled Machining: Two Years' Program, Plastics & Rubber Processing, June 1977.

29. R. Fenner and M. Mihsein, Stress Analysis of Extruder Screws, Plastics and Rubber Processing, March 1980.

30. S. Richardson, H. Pearson and J. Pearson, Simulation of Injection Moulding, Plastics and Rubber Processing, June 1980.

31. H. Bangert and G. Menges, Systematic Design of Injection Molds and Use of Computer, Proceedings of the 37th ANTEC, SPE Conference, New Orleans, U.S.A. 1979.

32. W. Eversheim and G. Bruninghaus, Computer Aided Design of Injection Molding Tools, Industrie Anzeiger, vol. 101, no. 37, May 1979.

33. Proceedings of the 9th IKV Seminar, Rubber and Plastics Research Association, Block 9 & 10, Aachen, Germany, March 1978.

34. C. Bord and M. Brièrre, Injection Mould Tools for Non Cellular Thermoplastics, Proceedings of the 38 th ANTEC, SPE Conference, New York, U.S.A., May 1980.

35. J. Maucotel et S. Couturier, Refroidissement des moules, Caoutchoucs et Plastiques, Jan/Fév. 1982.

36. C. Bord, Modélisation de l'écoulement des polymères dans les moules d'injection appliquée à la conception des moules, Edition du Centre d'étude des matières plastiques, Paris, France, Décembre 1980.

37. M. Toshihiro and Y. Masahiro, Computer Aided Design, Drawing and Manufacturing System for Dies and Molds, National Technical Report, vol. 24, no. 6, December 1978.

38. F. Yasukiyo, Approaches to Automation and High Cycle Molding Seen from Molds, Japan Plastic Age, July 1974.